

**USO DA QUITOSANA NA BIORREMEDIAÇÃO DO DERRAMAMENTO DE
ÓLEO: O POTENCIAL PRODUTIVO E BIOTECNOLÓGICO BRASILEIRO**

**USE OF CHITOSAN IN OIL SPILL BIOREMEDIATION: BRAZILIAN
PRODUCTIVE AND BIOTECHNOLOGICAL POTENTIAL**

**USO DEL QUITOSANO EN LA BIORREMEDIACIÓN DE DERRAMES DE
PETRÓLEO: POTENCIAL PRODUCTIVO Y BIOTECNOLÓGICO BRASILEÑO**



10.56238/edimpecto2025.090-049

Ana Thalia Sousa Carvalho

Graduanda em Biomedicina

Instituição: Centro Universitário do Maranhão (CEUMA)

E-mail: anathaliasousa17@gmail.com

Orcid: 0009-0007-5206-6270

Ingrid Thaís Nogueira dos Santos

Graduanda em Biomedicina

Instituição: Centro Universitário do Maranhão (CEUMA)

E-mail: ingirdthais@gmail.com

Orcid: 0009-0002-3788-0956

Alice Maely Almeida Lima

Graduanda em Biomedicina

Instituição: Centro Universitário do Maranhão (CEUMA)

E-mail: alicemaelyal@gmail.com

Orcid: 0009-0001-6120-8855

Andressa Cantanhede Azevedo

Graduanda em Biomedicina

Instituição: Centro Universitário do Maranhão (CEUMA)

E-mail: andressa.azevedo@icloud.com

Orcid: 0009-0008-6396-7717

Jhenify Beckhan Silva Moreira

Graduando em Biomedicina

Instituição: Centro Universitário do Maranhão (CEUMA)

E-mail: jhenifybeckhansilvamoreira@gmail.com

Orcid: 0009-0004-6862-1337



Vitor da Silva Moraes

Graduando em Biomedicina

Instituição: Centro Universitário do Maranhão (CEUMA)

E-mail: vitorsilvamoraesbiomed@gmail.com

Orcid: 0009-0008-1733-6738

Ágna Scarlat Silva Lopes

Graduanda em Biomedicina

Instituição: Centro Universitário do Maranhão (CEUMA)

E-mail: sagnascarlat@gmail.com

Orcid: 0009-0006-8734-9038

Rafaella Coelho Oliveira

Mestranda em Biociências Aplicadas à Saúde

Instituição: Centro Universitário do Maranhão (CEUMA)

E-mail: raffaellaoliveira236@gmail.com

Orcid: 0009-0003-0508-9243

João Inácio Diniz Ferreira

Mestrando em Biociências Aplicada à Saúde

Instituição: Centro Universitário do Maranhão (CEUMA)

E-mail: jidferreiraenf@gmail.com

Orcid: 0009-0003-6059-2693

Weldson Ricardo Silva Gomes

Mestrando em Biociências Aplicadas à Saúde

Instituição: Centro Universitário do Maranhão (CEUMA)

E-mail: ricksilva483@gmail.com

Orcid: 0009-0009-3502-8322

Gessiane dos Santos de Souza

Mestranda em Biociências Aplicadas à Saúde

Instituição: Centro Universitário do Maranhão (CEUMA)

E-mail: santosgessiane33@gmail.com

Orcid: 0009-0008-4134-5394

Camila Guerra Martinez

Docente do Mestrado em Biociências Aplicadas à Saúde

Instituição: Centro Universitário do Maranhão (CEUMA)

E-mail: camila005150@ceuma.com.br

Orcid: 0000-0001-6116-9182

RESUMO

O aumento de derramamentos de óleo devido às atividades humanas representa séria ameaça aos ecossistemas aquáticos. A quitosana, biopolímero obtido da desacetilação da quitina de resíduos de crustáceos, tem se destacado como material sustentável para a remoção de hidrocarbonetos. Suas propriedades de biodegradabilidade, funcionalidade química e possibilidade de modificação estrutural permitem desenvolver sorventes seletivos, oleofílicos e de alta capacidade de adsorção. No Brasil, o elevado volume de resíduos provenientes da carcinicultura, especialmente nas regiões Norte e Nordeste, confere expressivo potencial para a produção de quitosana, fortalecendo a bioeconomia e reduzindo impactos ambientais. Os estudos indicam que, embora a quitosana nativa apresente



desempenho moderado, compósitos e aerogéis derivados exibem maior eficiência, rápida cinética de adsorção e potencial de reutilização. Além disso, o aproveitamento de resíduos de crustáceos fortalece sua viabilidade econômica e ambiental. Logo, a quitosana representa alternativa promissora para estratégias sustentáveis de mitigação de derramamentos de óleo.

Palavras-chave: Absorção de Óleo. Crustáceos. Oleofilia.

ABSTRACT

The increase in oil spills due to human activities represents a serious threat to aquatic ecosystems. Chitosan, a biopolymer obtained from the deacetylation of chitin from crustacean waste, has stood out as a sustainable material for hydrocarbon removal. Its biodegradability, chemical functionality, and structural modification possibilities allow for the development of selective, oleophilic sorbents with high adsorption capacity. In Brazil, the high volume of waste from shrimp farming, especially in the North and Northeast regions, offers significant potential for chitosan production, strengthening the bioeconomy and reducing environmental impacts. Studies indicate that, although native chitosan shows moderate performance, derived composites and aerogels exhibit greater efficiency, rapid adsorption kinetics, and reuse potential. Furthermore, the use of crustacean waste strengthens its economic and environmental viability. Therefore, chitosan represents a promising alternative for sustainable oil spill mitigation strategies.

Keywords: Oil Absorption. Crustaceans. Oleophilicity.

RESUMEN

El aumento de los derrames de petróleo debido a las actividades humanas representa una grave amenaza para los ecosistemas acuáticos. El quitosano, un biopolímero obtenido mediante la desacetilación de la quitina proveniente de desechos de crustáceos, se ha destacado como un material sostenible para la eliminación de hidrocarburos. Su biodegradabilidad, funcionalidad química y posibilidades de modificación estructural permiten el desarrollo de sorbentes oleofílicos selectivos con alta capacidad de adsorción. En Brasil, el elevado volumen de desechos de la cría de camarones, especialmente en las regiones Norte y Nordeste, confiere un potencial significativo para la producción de quitosano, fortaleciendo la bioeconomía y reduciendo los impactos ambientales. Los estudios indican que, si bien el quitosano nativo muestra un rendimiento moderado, los compuestos y aerogeles derivados presentan mayor eficiencia, una cinética de adsorción rápida y potencial de reutilización. Además, el uso de desechos de crustáceos fortalece su viabilidad económica y ambiental. Por lo tanto, el quitosano representa una alternativa prometedora para estrategias sostenibles de mitigación de derrames de petróleo.

Palabras clave: Absorción de Petróleo. Crustáceos. Oleofilia.

1 INTRODUÇÃO

O avanço das atividades antrópicas, associado ao crescimento industrial e ao aumento da demanda por combustíveis fósseis, tem gerado preocupações crescentes. Tais ações aumentam significativamente os riscos de impactos ambientais. Entre esses riscos, destacam-se os desastres causados por derramamentos de óleo, resultantes de acidentes que provocam danos de grande magnitude e de longa duração (Moura, 2023).

O aumento das atividades petrolíferas, falhas em oleodutos, descargas industriais irregulares, atividades portuárias e exploração offshore configuram uma séria ameaça aos ecossistemas aquáticos e terrestres, pois liberam substâncias altamente poluidoras, como os hidrocarbonetos, que são capazes de comprometer a qualidade da água e do solo, promovendo uma bioacumulação de compostos tóxicos, refletindo diretamente na saúde e na qualidade de vida dos organismos vivos, com comprometimento das cadeias tróficas (Euzebio; Rangel; Marques, 2019).

A poluição marinha decorrente de descargas de hidrocarbonetos configura um dos mais relevantes desafios ambientais em escala global, comprometendo processos bióticos e abióticos essenciais ao equilíbrio ecológico (Walker., *et al* 2019). Os derramamentos de óleo afetam de maneira significativa a biodiversidade marinha e podem gerar impactos persistentes nos ecossistemas por longos períodos após o evento (Blackburn., *et al* 2014). Adicionalmente, para o ser humano, as consequências são expressivas: comprometimento da pesca artesanal, prejuízos à segurança alimentar, riscos à saúde pública e perdas socioeconômicas decorrentes da contaminação de áreas costeiras turísticas e produtivas (dos Santos., *et al* 2024).

A desintoxicação e o tratamento de derramamentos de óleo tradicionalmente envolvem métodos físicos (barreiras de contenção, skimmers), químicos (dispersantes, surfactantes sintéticos) e térmicos. Embora eficazes em curto prazo, esses procedimentos frequentemente apresentam limitações, como baixa seletividade, altos custos e, sobretudo, potenciais riscos secundários ao meio ambiente e à saúde humana, uma vez que os agentes químicos utilizados podem gerar subprodutos tóxicos e de difícil degradação (Kim, 2010.). Ao final, a degradação completa é predominantemente realizada pela microbiota marinha, sobretudo por bactérias (Ullah., *et al* 2022). Nesse cenário, a biorremediação destaca-se como estratégia eficaz, uma vez que reúne vantagens como elevada eficiência, baixo custo operacional, simplicidade de aplicação, elevada taxa de degradação e ausência de poluição secundária (Zhang; Wu; Huixueren, 2020).

A biorremediação, que utiliza agentes biológicos ou biomateriais no processo de descontaminação, tem se mostrado uma estratégia promissora. Entre os diversos materiais estudados, a quitosana destaca-se por suas propriedades de adsorção de hidrocarbonetos e capacidade de recuperação ambiental (Ababneh; Hameed, 2023).



A quitosana é um polímero natural de cadeia linear produzido a partir da desacetilação da quitina, biopolímero amplamente encontrado nas carapaças de organismos como camarões e caranguejos, geralmente por meio de processos envolvendo tratamento com soluções alcalinas (Umoren *et al.*, 2022). A estrutura química da quitosana, caracterizada pela presença de grupos amino e hidroxila, possibilita modificações que conferem propriedades hidrofóbicas, favorecendo a adsorção de óleo e outras substâncias hidrofóbicas presentes na água (Ahmed, 2025). Essa eficiência é potencializada por sua elevada área de superfície e porosidade, que contribuem para um processo de adsorção reversível (Alimuddin., *et al* 2025).

A relevância deste composto proveniente da casca de crustáceos como recurso estratégico torna-se ainda mais significativa em países com expressiva atividade pesqueira e carcinícola, como o Brasil (Ministério da Pesca e Aquicultura, 2025). Entretanto, o pleno aproveitamento econômico, tecnológico e ambiental dessa cadeia produtiva demanda uma análise criteriosa do potencial nacional, das tecnologias existentes, das barreiras e das sinergias com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU).

Assim, o aproveitamento de resíduos de crustáceos como fonte representa uma alternativa sustentável, contribuindo para a redução de impactos ambientais e diminuição dos custos associados à produção de quitinases (Negi; Verma; Singh, 2021). Os bioresíduos explorados para a bioconversão de resíduos quitinosos, como as cascas de camarão, visam à obtenção de enzimas e compostos bioativos, de modo a ampliar o aproveitamento de subprodutos do processamento de frutos do mar ricos em quitina (Chakravarty; Edwards, 2022).

Além disso, a natureza biodegradável da quitosana reduz os impactos ambientais durante as operações de remediação (Piotrowska-Kirschling., *et al* 2021). Assim, adsorventes derivados de quitosana vêm ganhando crescente atenção como alternativa sustentável e eficiente para biorremediação de acidentes por derramamento de óleo. O emprego de adsorventes desponta como uma das soluções mais eficazes para o controle de derramamentos de óleo, já que combina baixo custo, elevada eficiência de recuperação e reduz risco de causar impactos ambientais secundários (Omar., *et al* 2023). Sendo assim, a quitosana, considerada o segundo biopolissacarídeo mais abundante da natureza tem se destacado, por ser um material renovável, biodegradável, atóxico e compatível com o meio ambiente, ela apresenta vantagens significativas.

2 MATÉRIA-PRIMA DISPONÍVEL NO BRASIL: MAGNITUDE E DISTRIBUIÇÃO

O Brasil possui condições favoráveis para a obtenção de quitosana a partir de resíduos de cascas de crustáceos, particularmente em função da expansão da carcinicultura e pesca marinha localizada nas regiões costeiras nordestinas (Ministério da Pesca e Aquicultura, 2025). O Brasil possui aproximadamente 1 milhão de hectares de manguezais, o que representa cerca de 7% a 8,5% da área

total global, e enfrenta volumes expressivos de resíduos sólidos de crustáceos, ainda pouco aproveitados (Amaral., *et al* 2025). A atividade de processamento de camarão gera resíduos que representam 40 a 50 % do peso total do crustáceo, o que evidencia o enorme potencial bruto de biomassa para obtenção de quitina e, posterior, processamento para quitosana (Rocha & Rodrigues, 2004). No entanto, os dados estatísticos do setor ainda são limitados para se obter estimativas de volume absoluto de resíduos casca-camarão nacional, o que dificulta dimensionamento do potencial para a obtenção da quitina e produção da quitosana (Bessa-Júnior & Gonçalves, 2013)

Em termos técnico-econômicos, esse potencial de matéria-prima representa uma base estratégica para a cadeia de quitosana no Brasil, desde que se articule com a logística de coleta, pré-tratamento, armazenamento de cascas e integração com a indústria de pescado. Esta integração é especialmente relevante para minimizar custos de transporte e maximizar a eficiência da cadeia produtiva.

3 TECNOLOGIA DE EXTRAÇÃO E ESTADO DA ARTE NO BRASIL

A produção de quitosana envolve, classicamente, três etapas principais: (i) desproteinização (remoção de proteínas da casca de crustáceo); (ii) desmineralização (remoção de carbonatos e fosfatos, particularmente CaCO_3); e (iii) desacetilação (transformação da quitina em quitosana mediante tratamento alcalino em altas temperaturas) (Battisti *et al* 2008, Pena *et al* 2022). Em ações brasileiras, já se encontram pesquisas que relatam processos químicos convencionais aprimorados, bem como rotas alternativas mais sustentáveis (Santos, 2024). E com esses avanços modestos, a adoção em escala industrial nacional permanece incipiente. Entre os desafios tecnológicos destacam-se: corrosão e consumo elevado de reagentes (na etapa alcalina), tratamento de efluentes gerados, necessidade de padronização da casca (moagem, secagem, granulometria), e a obtenção de grau de desacetilação adequado para a aplicação ambiental desejada (adsorção de óleo, compatibilidade com microrganismos etc.).

4 VANTAGENS E BARREIRAS PARA ADOÇÃO EM LARGA ESCALA NO BRASIL

A adoção em larga escala da quitosana no contexto brasileiro revela-se como uma alternativa biotecnológica promissora, sustentada por uma série de vantagens econômicas, ambientais e sociais. Do ponto de vista estratégico, o país reúne condições singulares para o desenvolvimento dessa cadeia, sobretudo em função da abundância de matéria-prima oriunda da carcinicultura e da pesca artesanal, atividades que geram resíduos de crustáceos em volumes expressivos, muitas vezes subutilizados ou descartados de forma inadequada (Ministério da Pesca e Aquicultura, 2025). A conversão dessas cascas em quitosana representa uma solução de economia circular que agrega valor a um subproduto de baixo custo, reduz o passivo ambiental do setor pesqueiro e cria novas oportunidades de



desenvolvimento tecnológico e socioeconômico em regiões costeiras. Essa abordagem é especialmente relevante no Nordeste brasileiro, onde a concentração de indústrias de beneficiamento de camarão favorece a formação de polos de bioprocessamento integrados, com potencial para estimular cadeias produtivas locais, fomentar inovação e promover inclusão social por meio da geração de empregos qualificados.

Além dos benefícios ambientais, a quitosana destaca-se por sua biodegradabilidade, biocompatibilidade e versatilidade funcional, características que ampliam seu espectro de aplicações industriais. Sua estrutura polimérica, rica em grupos amino e hidroxila, confere alta afinidade por moléculas polares, o que a torna particularmente eficiente na adsorção de compostos orgânicos, metais pesados e frações oleosas (Ramos Berger *et al* 2011, Nascimento *et al* 2021). Esses atributos reforçam o potencial da quitosana como material base para a remediação ambiental de áreas contaminadas por óleo e seus derivados, oferecendo uma alternativa menos tóxica e mais sustentável em comparação aos adsorventes sintéticos convencionais. A incorporação da quitosana em matrizes híbridas, como esponjas e aerogéis, consolidaria ainda mais esse biopolímero como um vetor tecnológico capaz de atender simultaneamente às demandas ambientais e produtivas.

Contudo, para a obtenção de quitosana no Brasil, a principal limitação residiria nos custos operacionais elevados, associados ao uso intensivo de reagentes alcalinos e ácidos nas etapas de desmineralização, desproteinização e desacetilação, que exigem tratamento rigoroso dos efluentes gerados. Soma-se a isso a carência de infraestrutura logística para a coleta, transporte e armazenamento da biomassa, cujas características perecíveis impõem desafios à manutenção da qualidade da matéria-prima (Silva *et al* 2022). A dispersão geográfica dos polos pesqueiros, aliada à ausência de sistemas cooperativos de recolhimento de resíduos, dificultaria ainda mais a padronização dos fluxos produtivos e reduz a eficiência econômica do processo.

Outra barreira relevante é a lacuna regulatória e tecnológica relacionada à padronização do produto. O grau de desacetilação, o peso molecular e a pureza da quitosana influenciam diretamente seu desempenho e segurança ambiental, tornando imprescindível o estabelecimento de parâmetros de controle de qualidade específicos para aplicações em biorremediação. A ausência de regulamentações claras para o uso do material em ambientes costeiros e aquáticos, bem como a falta de diretrizes sobre o manejo e destinação dos adsorventes após uso, constituem entraves à certificação ambiental e à aceitação comercial. Por fim, atualmente, há a escassez de estudos em escala piloto e de análises de ciclo de vida e custo-benefício, que são essenciais para demonstrar a viabilidade técnica e econômica da quitosana frente às tecnologias convencionais de remediação. Superar essas barreiras demanda uma articulação sistêmica entre universidades, indústrias e órgãos governamentais, com investimento em pesquisa translacional, incentivos fiscais e políticas públicas que estimulem a biovalorização de resíduos e a consolidação de cadeias produtivas regionais de base biotecnológica.



5 CONTRIBUIÇÃO PARA OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS)

A cadeia de produção e aplicação da quitosana no Brasil apresenta sinergias diretas com diversas ODS estabelecidos pela ONU, constituindo um exemplo concreto de tecnologia capaz de integrar crescimento econômico, inovação e conservação ambiental (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS). O aproveitamento de cascas de crustáceos como insumo para a produção de quitosana está alinhado aos princípios da economia circular e da bioeconomia, promovendo padrões de produção e consumo mais sustentáveis em conformidade com o ODS 12 (“Consumo e Produção Responsáveis”) (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS). Ao converter resíduos que tradicionalmente representam um passivo ambiental em matéria-prima de alto valor agregado, essa cadeia produtiva contribui para a redução do desperdício, a mitigação de impactos sobre ecossistemas costeiros e a eficiência no uso de recursos naturais.

Paralelamente, o uso da quitosana em processos de biorremediação de óleo e efluentes oleosos tem relevância direta para o ODS 14 (“Vida na Água”), ao favorecer a recuperação de ambientes marinhos e estuarinos contaminados, preservando a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos associados (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS). Essa contribuição é particularmente relevante no contexto brasileiro, em que derramamentos acidentais e descargas industriais impactam recorrentemente áreas costeiras sensíveis (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS). A adoção de soluções biotecnológicas baseadas em quitosana pode, portanto, fortalecer políticas nacionais de controle da poluição hídrica, integrando ciência, inovação e governança ambiental.

Do ponto de vista industrial e tecnológico, o desenvolvimento de processos sustentáveis para a extração e modificação da quitosana está intimamente conectada à ODS 9 (“Indústria, Inovação e Infraestrutura”), estimulando a criação de cadeias produtivas limpas e a difusão de tecnologias verdes (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS). A instalação de unidades de processamento próximas aos polos pesqueiros tem o potencial de dinamizar economias regionais, diversificar a base produtiva e fomentar a criação de startups e pequenas empresas de biotecnologia, em consonância com os princípios da inovação inclusiva e territorialmente equilibrada.

Adicionalmente, a consolidação dessa cadeia produtiva pode contribuir indiretamente para o ODS 8 (“Trabalho Decente e Crescimento Econômico”) e o ODS 1 (“Erradicação da Pobreza”), uma vez que estimula a geração de emprego local e a inclusão de comunidades pesqueiras e artesanais em atividades de maior valor agregado (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS). Ao internalizar práticas de sustentabilidade, inovação e justiça social, o uso da quitosana na biorremediação de óleo transcende o campo técnico, configurando-se como instrumento de política pública e de transformação estrutural. Porém, para que o alinhamento com as ODS seja efetivo, é imprescindível que as ações



sejam acompanhadas de indicadores quantitativos de impacto ambiental e social, avaliação de ciclo de vida e estratégias de governança que assegurem a sustentabilidade integral do processo.

Assim, a quitosana emerge não apenas como uma alternativa tecnológica de relevância científica, mas como um vetor de desenvolvimento sustentável, capaz de integrar conservação ambiental, inovação industrial e inclusão socioeconômica em uma agenda coerente com os compromissos globais da Agenda 2030.

6 QUITOSANA COMO FERRAMENTA BIOTECNOLÓGICA PARA A BIORREMEDIAÇÃO DE POLUENTES OLEOSOS: AVANÇOS, LIMITAÇÕES E PERSPECTIVAS

A crescente contaminação de rios, mares e oceanos tem reforçado a necessidade de desenvolvimento de materiais eficazes e ambientalmente seguros para a remoção de poluentes, especialmente derivados de petróleo que representa um grave risco ambiental. Nesse contexto, regulamentações legais e iniciativas sustentáveis têm incentivado a busca por materiais inovadores, eficientes e ecologicamente seguros para a remoção de poluentes, destacando-se aqueles com elevado potencial de sorção de petróleo (Piotrowska-Kirschling., *et al* 2021).

A utilização de subprodutos de resíduos de frutos do mar representa uma alternativa promissora para a geração de produtos comerciais de alto valor agregado, com impacto positivo no desenvolvimento econômico. Desse modo, as atuais tendências de aplicação da quitosana reforçam seu potencial na produção de diversos materiais, consolidando uma base sólida para futuras explorações desse biopolímero em diferentes setores (Chakravarty; Edwards, 2022).

Em 2023, o mercado global de quitosana foi avaliado em aproximadamente US\$ 13 bilhões, com projeção de alcançar US\$ 47,06 bilhões até 2030, sustentado por um crescimento anual composto de 20,3% entre 2024 e 2030. Essa expansão está relacionada ao aumento da demanda por produtos de origem natural e à ampla utilização do biopolímero em áreas como tratamento de efluentes, indústria farmacêutica e cosmética (Grand View Research, 2023).

Estudos anteriores demonstram diferentes níveis de eficiência de sorção dependendo da modificação e do tipo de quitosana utilizada. A modificação da quitosana em aerogel hidrofóbico/oleofílico aumenta significativamente a seletividade óleo/água e a elevada capacidade de absorção, destacando a importância de interações hidrofóbicas na eficiência do sorvente (Bidgolo; Khodadadi; Mortazavi, 2019). No entanto, há limitações de desempenho de biossorventes de quitosana em condições de salinidade. O uso do gládio de lula e de seus derivados, incluindo a quitosana, como biossorventes para óleo diesel marinho em diferentes condições de salinidade (0 e 30 ‰) teve desempenho relativamente baixo, com remoção de cerca de 42% do óleo em água doce e 33% em meio



salino. Essa redução de eficiência foi atribuída à neutralização da carga positiva dos grupos amino da quitosana pela carga negativa presente nas moléculas de óleo (Preto., *et al* 2017).

Avanços recentes apontam para estratégias de otimização da quitosana, seja pela combinação com outros polímeros ou pelo desenvolvimento de compósitos híbridos. Recentemente, um sorvente polimérico biodegradável e de baixo custo, obtido de quitosana e citral, com alta eficiência na remoção de derivados de petróleo foi desenvolvido. O material apresentou elevada capacidade de sorção, aproximadamente o dobro da quitosana nativa, mantendo fluabilidade e reutilização por múltiplos ciclos sem perda significativa de desempenho (Yudaev; Semenova; Chistyakov, 2023). A criação do compósito SH-SiO₂@3CNTs/CS, cuja combinação de sílica funcionalizada, nanotubos de carbono e quitosana resultou em material com elevada resistência mecânica, super-hidrofobicidade e super-oleofilia, permite a absorção rápida de óleo e desempenho superior como sorvente (Xu., *et al* 2025). Esses achados evidenciam que a eficiência de sorção da quitosana pode ser significativamente ampliada por meio de modificações químicas ou da formação de compósitos híbridos, superando as limitações de biossorventes simples. A versatilidade desses materiais permite aplicações práticas em diferentes ambientes aquáticos, oferecendo soluções sustentáveis, econômicas e de alto desempenho para a remoção de poluentes hidrocarbonetos.

Além das melhorias na eficiência de sorção, os estudos indicam que o desempenho dos materiais baseados em quitosana está fortemente ligado às suas propriedades estruturais e químicas. Aerogéis, compósitos e materiais funcionalizados apresentam elevada porosidade, interações hidrofóbicas e oleofilia, características essenciais para absorção rápida de óleos. Esses atributos apontam para a possibilidade de futuras pesquisas combinando quitosana com nanopartículas, grupos funcionais ou outros polímeros naturais, visando otimizar seletividade, capacidade de reuso e eficiência em condições ambientais variadas, incluindo águas salinas e contaminadas por diferentes tipos de hidrocarbonetos. Tal abordagem contribui para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis e economicamente viáveis na biorremediação ambiental.



Tabela 1 – Formulações de quitosana e seus desempenhos na remoção de óleo em ambientes aquáticos

Formulação/Modificação da Quitosana	Condição do Estudo	Desempenho/Resultados	Referência
Aerogel hidrofóbico/oleofílico	Sorção seletiva óleo/água	Alta capacidade de absorção; aumento da seletividade devido às interações hidrofóbicas	Bidgolo; Khodadadi; Mortazavi (2019)
Quitosana derivada do gládio de lula	Água doce (0 ‰ salinidade)	Remoção de ~42% do óleo diesel marinho	Preto <i>et al.</i> (2017)
Quitosana derivada do gládio de lula	Meio salino (30 ‰ salinidade)	Remoção de ~33% do óleo diesel marinho; redução de eficiência pela neutralização da carga positiva da quitosana	Preto <i>et al.</i> (2017)
Quitosana + citral (sorvente polimérico biodegradável)	Diferentes derivados de petróleo em água	Capacidade de sorção ~2x maior que a quitosana nativa; material reutilizável e flutuante sem perda significativa de desempenho	Yudaev; Semenova; Chistyakov (2023)
Compósito SH-SiO ₂ @3CNTs/CS (sílica funcionalizada + nanotubos de carbono + quitosana)	Absorção de óleo em água	Alta resistência mecânica; super-hidrofobicidade e super-oleofilia; absorção rápida e superior	Xu <i>et al.</i> (2025)

Fonte: Elaborado pelo autor.

7 CONCLUSÃO

A quitosana consolida-se como uma alternativa tecnicamente robusta e ambientalmente sustentável para a mitigação de derramamentos de óleo, sobretudo quando submetida a modificações químicas ou incorporada em compósitos híbridos de alta performance. O Brasil possui uma condição de partida estratégica para desenvolver uma cadeia produtiva nacional de quitosana a partir de cascas de crustáceos, com aplicação na biorremediação de óleo. A magnitude potencial de matéria-prima disponível, combinada à competência acadêmica e à necessidade de soluções ambientais inovadoras, configura uma janela de oportunidade. Contudo, há lacunas e desafios que exigem articulação técnica, econômica e política.

As propriedades intrínsecas da quitosana como hidrofobicidade, oleofilicidade e elevada porosidade, favorecem a rápida adsorção e elevada seletividade na separação óleo/água. Além disso, a utilização de resíduos de crustáceos como matéria-prima contribui para o fortalecimento de cadeias produtivas circulares, promovendo benefícios econômicos, sociais e ambientais. Avanços recentes em engenharia de materiais demonstram que a funcionalização da quitosana com grupos químicos específicos, bem como a incorporação de nanopartículas metálicas ou de carbono, ampliam significativamente sua capacidade de sorção, estabilidade em meios complexos (incluindo ambientes marinhos salinos) e potencial de reutilização. Dessa forma, a quitosana não apenas se configura como uma solução promissora para a biorremediação de poluentes oleosos, mas também como plataforma estratégica para o desenvolvimento de tecnologias inovadoras em bioeconomia e sustentabilidade ambiental.

REFERÊNCIAS

- ABABNEH, Hani; HAMEED, BH. Chitosan and chitosan composites for oil spills treatment: Review of recent literature. *Journal of Water Process Engineering*, v. 55, p. 104193, 2023.
- AHMED, Nayeem. Materiais à base de quitosana para tratamento de derramamentos de óleo. **Materiais de base biológica e seus compósitos para tratamento de derramamentos de óleo**, p. 143-158, 2025.
- ALIMUDDIN *et al.* Nanomateriais híbridos de quitosana e sílica para tratamento de derramamentos de óleo. **Materiais de base biológica e seus compósitos para tratamento de derramamentos de óleo**, p. 159–172, 2025.
- AMARAL, J. R. V. et al. Current status of Brazilian mangroves: their ecosystem services, conservation, restoration, microbial diversity and biotechnologies. **Science of the Total Environment**, v. 1001, p. 180517, 2025.
- BARROS, T. S. et al. Production and analysis of chitosan from regional shrimp shell residues (*Macrobrachium amazonicum*) from the city of Macapá-AP, Brazil. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 8, n. 4, p. 22749–22762, abr. 2022.
- BATTISTI, M. V.; CAMPANA-FILHO, S. P. Obtenção e caracterização de α -quitina e quitosanas de cascas de *Macrobrachium rosenbergii*. **Química Nova**, v. 31, n. 8, p. 2072–2079, 2008.
- BESSA-JUNIOR, A. P.; GONÇALVES, A. A. Análise econômica e produtiva da quitosana extraída do exoesqueleto de camarão. **Acta Fish. Aquat. Res.**, v. 1, n. 1, p. 13–28, 2013
- BIDGOLI, Hosein.; KHODADADI, Abbas Ali; MORTAZAVI, Yadollah. A hydrophobic/oleophilic chitosan-based sorbent: Toward an effective oil spill remediation technology. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 7, n. 5, p. 103340, 2019.
- BLACKBURN, Michele *et al.* **Oil in Our Oceans: A Review of the Impacts of Oil Spills on Marine Invertebrates**. Portland: The Xerces Society, p. 152, 2014.
- BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura. Camarão brasileiro: um tesouro nacional. Brasília: MPA, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mpa/pt-br/assuntos/noticias/camarao-brasileiro-um-tesouro-nacional>. Acesso em: 5 set. 2025.
- CHAKRAVARTY, Jayashree; EDWARDS, Tianna A. Innovation from waste with biomass-derived chitin and chitosan as green and sustainable polymer: a review. *Energy Nexus*, v. 8, p. 100149, 2022.
- DOS SANTOS, Mariana Olívia Santana *et al.* Vulnerabilidades socioambientais na pesca artesanal: desafios e conquistas para Territórios Saudáveis e Sustentáveis em Pernambuco. **Saúde Debate**, v. 48, n. 136, p. 1-15, 2024.
- EUZEBIO, Camila Szerman; RANGEL, Giovanna da Silveira; MARQUES, Rejane Côrrea. Derramamento de petróleo e seus impactos no ambiente e na saúde humana. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 52, p. 79–98, 2019.
- GONÇALVES, P. R. L. C *et al.* Obtenção e Caracterização de Quitosana Preparada a Partir do Aproveitamento dos Rejeitos de Camarão Branco (*Litopenaeus schmitti*) da Região de São Luís - MA. **60º Congresso Brasileiro de Química**, 2021.



GRAND VIEW RESEARCH. *Chitosan Market Size, Share & Trends Analysis Report by Application, By Region, and Segment Forecasts, 2024–2030*. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/global-chitosan-market>. Acesso em: 6 set. 2025.

KIM, Leonardo. **Métodos de contenção de derramamento de petróleo no mar**. 2010. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Petróleo) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MOURA, Andrew Porto. **Análise da eficiência de sorventes inorgânicos na remediação de derramamento de petróleo**. 2023. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2023.

NASCIMENTO, I. F. do. Desenvolvimento de micropartículas magnéticas associadas à quitosana reticulada para recuperação de íons Ni^{2+} de efluentes industriais. **Scientia Prima**, Feliz, v. 7, n. 1, e43, 2021.

NEGI, Himani; VERMA, Priyanka; SINGH, Raj Kumar. A comprehensive review on the applications of chitosan in petroleum industry. **Carbohydrate Polymers**, v. 266, p. 117708, 2021.

OMAR, Basma M *et al.* Wheat husk-based sorbent as an economical solution for removal of oil spills from sea water. **Scientific Reports**, v. 13, p. 2575, 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs> Acesso em: 5 set. 2025.

PIOTROWSKA-KIRSCHLING, Agnieszka *et al.* Application of shrimp waste for the synthesis of polyurethane–chitosan materials with potential use in sorption of oil micro-spills in water treatment. **Sustainability**, v. 13, n. 9, p. 5098, 2021.

PRETO, Mayra F *et al.* Gladius and its derivatives as potential biosorbents for marine diesel oil. **Environmental Science and Pollution Research International**, v. 24, n. 29, p. 22932–22939, 2017.

RAMOS BERGER, L. R.; MONTENEGRO STAMFORD, T. C.; STAMFORD, N. P. Perspectivas para o uso da quitosana na agricultura. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, v. 12, n. 4, p. 195–215, ago. 2011.

ROCHA, I. D. P.; RODRIGUES, J. A. A carcinicultura brasileira em 2003. **Revista da Associação Brasileira de Criadores de Camarão**, n. 6, p. 1, 2004.

SANTOS, S. O. Avaliação do potencial adsorvente do resíduo de camarão. 2024. **Relatório (Iniciação Científica)** — Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2024. Disponível em: <https://ri.ufs.br/> Acesso em: 5 set. 2025.

SOUZA, M. C. R.; SANTOS, D. S.; OLIVEIRA, E. C. Produção fúngica de quitina e quitosana utilizando resíduos agroindustriais como fontes sustentáveis de carbono e nitrogênio. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 3562–3573, jan. 2022.

ULLAH, S *et al.* Biodegradation of petroleum by bacteria isolated from fishes of Indian Ocean. **Brazilian Journal of Biology**, v. 82, p. 244703, 2022.



UMOREN, Salvador da Paz *et al.* Biogenic Synthesis and Characterization of Chitosan-CuO Nanocomposite and Evaluation of Antibacterial Activity against Gram-Positive and -Negative Bacteria. **Polymers**, v. 14, n. 9, p. 1832, 2022.

WALKER, Tony R *et al.* Environmental Effects of Marine Transportation. In: *World Seas: An Environmental Evaluation*. **Ecological Issues and Environmental Impacts**, p. 505-530, 2019.

XU, Chu *et al.* Superhydrophobic sponge-like chitosan/CNTs/silica composite materials for enhanced oil absorption. **Journal of Hazardous Materials**, v. 353, p. 123256, 2025.

YUDAEV, Pavel; SEMENOVA, Anastasia.; CHISTYAKOV, Evgeniy. Gel based on modified chitosan for oil spill cleanup. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 141, n. 4, p. e54838, 2024.

ZHANG, Chao; WU, Daoji; HUIXUEREN. Bioremediation of oil contaminated soil using agricultural wastes via microbial consortium. **Scientific Reports**, v. 10, p. 9188, 2020.